

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta hornicko - geologická**

Institut environmentálního inženýrství

**MONITOROVÁNÍ HYDROCHEMICKÝCH PARAMETRŮ  
V DEMINERALIZACNÍCH STANICÍCH**

**MONITORING OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS IN  
THE DEMINERALIZATION STATIONS**

**Bakalářská práce**

Autor:

Veronika Olejárová

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Eva Pertile, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Veronika Olejárová**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904R028 Environmentální biotechnologie  
Téma: **Minotorování hydrochemických parametrů v demineralizačních stanicích**  
**Monitoring of Hydrochemical Parameters in the Demineralization Stations**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl bakalářské práce
2. Demineralizační stanice
3. Praktická část
  - 3.1. Charakteristika odběrových míst
  - 3.2. Metodika odběru vzorků
  - 3.3. Metodika analýzy
  - 3.4. Metodika hodnocení
4. Výsledky a diskuse
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

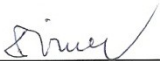
1. Pitter Pavel: *Hydrochemie*. VŠCHT Praha 4. vydání, 2009. 568 s.
2. Horáková Marta a kol.: *Analytika vody*. VŠCHT Praha, 2. vydání, 2003. 335 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Eva Pertile, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013

  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
vedoucí institutu




  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

### **Prohlášení**

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 30. 4. 2013



Veronika Olejárová

## **Poděkování**

Na začátek mé práce bych chtěla velmi poděkovat zaměstnancům demineralizační stanice, kteří mi byli nablízku vždy, když jsem to potřebovala. Hlavně paní Evě Strakové, která se o mě celých 14 dní starala, pomáhala mi při práci a vysvětlila, co bylo třeba, panu Jiřímu Olejárovi, za ochotu a pomoc. Dále bych ráda poděkovala panu řediteli Jiřímu Bujnochovi, který mi tuto praxi umožnil a dále panu Jaroslavu Majerovi, který se staral o můj doprovod v provozu. Nakonec bych ráda poděkovala vedoucí bakalářské práce Mgr. Evě Pertile, Ph.D., za pevné nervy, vstřícný přístup a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce.

## **Anotace**

Bakalářská práce se týká stanovení hydrochemických ukazatelů jakosti vody, které jsem stanovovala v demineralizační stanici Energetiky Vítkovic a.s. v rámci praxe v této oblasti. Kontrolovala jsem chemické režimy surové vody z Ostravice – Odry, chladicí vodu, čířenou a filtrovanou vodu, čířič, silně kyselý katex a demineralizační vodu. Tyto ukazatele se stanovovaly proto, aby po zapsání do laboratorního deníku a zaevidování těchto hodnot do vnitřních systémů demineralizační stanice, proběhlo posouzení, zda se nevyskytuje porucha demineralizační stanice.

## **Klíčová slova:**

Demineralizační stanice, hydrochemické ukazatele vody, katex, anex, úprava vody

## **Annotation**

This thesis concerns the determination of water quality parameters that were determined in the demineralization station Energizers Vítkovice as in practice in this field. I checked the chemical modes of raw water from Ostravice - Oder, cooling water, decanting and filtering water clarifier, strongly acidic cation exchange resin and water demineralization. With practice, I became acquainted with the work of employees in the laboratory and in the operation.

## **Key words:**

Demineralization station, hydrochemical indicators of water, cation and anion exchange resin, water treatment.

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ÚVOD A CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>                                   | <b>1</b>  |
| <b>2. TEORETICKÁ ČÁST.....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1. Úprava vody.....   | 3         |
| 2.2. Demineralizace .....   | 6         |
| 2.3. Úprava neutralizační vody z regenerace .....                             | 13        |
| 2.4. Změkčování .....   | 14        |
| <b>3. MONITOROVÁNÍ KVALITY VOD.....</b>                                       | <b>16</b> |
| 3.1. Odměrné metody.....  | 18        |
| 3.1.1. Stanovení neutralizačních kapacit .....                                | 18        |
| 3.1.2. Chloridy .....   | 20        |
| 3.1.3. Celková tvrdost vody .....   | 21        |
| 3.2. Elektrochemické metody .....   | 23        |
| 3.2.1. Stanovení pH.....  | 23        |
| 3.2.2. Stanovení konduktivity .....   | 23        |
| <b>4. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>  | <b>25</b> |
| 4.1. Metodika odběru vzorků .....   | 25        |
| 4.2. Metodika analýzy.....  | 25        |
| 4.2.1. Stanovení neutralizačních kapacit – stanovení $\text{KNK}_{8,3}$ ..... | 25        |
| 4.2.2. Kontrola chemických režimů – stanovení $\text{KNK}_{4,5}$ .....        | 26        |
| 4.2.3. Kontrola chemických režimů – stanovení $\text{ZNK}_{4,5}$ .....        | 26        |
| 4.2.4. Kontrola chemických režimů – stanovení chloridů .....                  | 27        |
| 4.2.5. Kontrola chemických režimů – stanovení pH.....                         | 28        |
| 4.2.6. Kontrola chemických režimů – stanovení konduktivity .....              | 28        |
| <b>5. VÝSLEDKY A DISKUSE.....</b>   | <b>29</b> |
| 5.1. Vyhodnocení surové vody .....  | 29        |
| 5.2. Vyhodnocení čířené vody .....  | 30        |
| 5.3. Vyhodnocení vody z čířiče .....  | 31        |
| 5.4. Vyhodnocení chladicí vody .....  | 32        |
| 5.5. Silně kyselý katex .....   | 32        |
| 5.6. Hodnocení demineralizované vody .....                                    | 33        |
| <b>6. Závěr .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Použitá literatura .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>Seznam použitých tabulek: .....</b>  | <b>37</b> |

## Seznam použitých zkratk

|                    |  |
|--------------------|--|
| angl.              | anglicky                                       |
| BE                 | bod ekvivalence                                |
| CE                 | kapilární elektroforéza                        |
| COD                | angl. CHSK = chemická spotřeba kyslíku         |
| CR                 | odporová konstanta                             |
| ČEZ                | České energetické závody                       |
| DH                 | dolní hodnota                                  |
| DNA                | deoxyribonukleová kyselina                     |
| EDTA               | disodná důl kyseliny ethylendiamintetra octové |
| HPCE               | vysokoúčinná kapilární elektroforéza           |
| CHSK               | chemická spotřeba kyslíku                      |
| CHÚV               | chemické ukazatele vody                        |
| KNK                | kyselinová neutralizační kapacita              |
| MB – filtry        | mixbed filtry                                  |
| MH                 | mezní hodnota                                  |
| MZd -              | ministerstvo zdravotnictví                     |
| NK                 | neutralizační kapacita                         |
| O.J.               | organizační jednotka                           |
| ox                 | oxidace  |
| p.a.               | angl. per analysis = pro analýzu               |
| P <sub>anorg</sub> | anorganický fosfor                             |
| PE láhve           | polyethylenové láhve                           |
| P <sub>org</sub>   | organický fosfor                               |
| Red                | redukce  |
| SMC Paskov         | Severomoravská celulóžka Paskov (Biocel)       |
| SME                | Severomoravská energetika                      |
| ZNK                | zásadová neutralizační kapacita                |

## 1. ÚVOD A CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce představuje výsledek práce vodohospodářské laboratoře OJ Teplárny Teplárna Vítkovice se sídlem v Ostravě-Vítkovicích a také nabytých znalostí z demineralizační stanice, ve které jsem strávila dva týdny. Mezi tyto znalosti patří především seznámení s funkcí demineralizační stanice, praxe při stanovení hydrochemických ukazatelů jakosti vod, ukázka posouzení výsledků s parametry.

Demineralizační stanice byla uvedena do provozu koncem roku 1964. Zajišťovala chemickou úpravu napájecí vody pro vysokotlaké kotelní agregáty. Linka s výkonem 100t/hod. byla k úpravě přidána v roce 1978. Kvalita takto upravené vody se kontrolovala v laboratořích pro chemickou kontrolu provozních režimů. Tato upravená voda se používala i k dalším účelům. Například v provozech jaderné energetiky k proplachům, při tlakových zkouškách komponentů jaderné energetiky.

Z ústřední čistírny odpadních vod se také využívaly vyčištěné odpaní vody. Tyto vody se používaly jako přídavné provozní vody. Takto se využívalo téměř 30% odpadních vod (doplnění plynočistírenského okruhu nebo hydrodopravu popelovin v závodech – 1,4,8). Voda se dopravovala i pro důl Hlubina. <sup>[4]</sup>

Nejprve se upravuje voda v Densadegu. Tento tříkomorový čistič vodu přechišťuje, čirí a promíchává s dalšími chemikáliemi. Voda vytékající z něj, při optimálním provozu, obsahuje ještě cca 10 mg/l zbytkového znečištění (vločky uhličitane vápenatého a hydroxidu železitého s většími či menšími nežádoucími částicemi přirozených nečistot z říční vody). Tyto vločky se poté odstraňují ve třech pískových filtrech. <sup>[2]</sup>

V letech 1954 – 1957 došlo k vybudování třech usazovacích nádrží Dorr – Oliver. Jejich čistící efekt byl 850 l/s. Další dvě nádrže byly postaveny v roce 1963 pro plynočistírnu. Další nádrž o čistícím efektu 800 l/s v roce 1971. Dosáhlo se tím úplného cirkulačního okruhu přímého chlazení a čištění plynu.

Přibližně 670 l/s odpadních vod, což byla převážná část, byla vypouštěna do Ostravice. Před vypouštěním proběhlo mechanicko – chemické čištění. Cca 120 l/s vyčištěných odpadních vod bylo čerpáno k hydraulické dopravě popelovin. Po sedimentaci popelovin poté odékaly do Ostravice. <sup>[4]</sup>



**Cílem bakalářské práce je:**

- Stanovení hydrochemických parametrů veškerých vod demineralizační stanice a jejich posouzení se standardy.
- Seznámení s funkcí a prací celé demineralizační linky.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

Přírodní vodu k technickému použití je třeba upravit tak, aby splňovala odpovídající, často velmi vysoké kvalitativní požadavky. Patří sem například napájecí voda k výrobě páry, k ohřevu, chlazení apod. Je zvláště nutné zabránit usazování nečistot a tvorbě usazenin především v potrubí parních kotlů, na lopkách parních turbín atd. Proto musí být voda pro výrobu páry zbavena veškerých látek způsobující usazeniny.

### 2.1. Úprava vody

V současnosti, v potřebné kvalitě a množství, je tato voda získávána demineralizací přírodní vody pomocí iontových filtrů. Demineralizaci lze vnímat prakticky jako úplné odstranění elektrolytů a rozpuštěného oxidu siřičitého ze surové vody. Provádí se toto pomocí iontových filtrů, což znamená výrobu demineralizované vody s téměř teoretickou vodivostí. Surová voda se nejprve předupraví a poté se demineralizuje v demineralizační lince. Ta se sestává ze za sebou řazených filtrů plněných zrnitou polystyrénovou a akrylovou iontovou hmotou.

Demineralizační linka se sestává převážně z:

- jednoho nebo více katexových filtrů (většinou s rozdílnou aciditou),
- CO<sub>2</sub> odlučovač (pokud je zapotřebí),
- anexový filtr slabě zásaditý a silně zásaditý,
- mixbed filtr (zařazený na konci).

#### Předúprava vody pro demineralizaci

**Densadeg** (Obrázek 1:Densadeg) je čistící zařízení. V kompletním provedení se skládá z koagulační, flokulační a sedimentační komory (Obrázek 2: Densadeg schéma).

K upravované vodě, která obsahuje nečistoty ve formě suspendovaných a rozpustných látek, se v koagulační komoře (k destilaci převážně negativně nabitých koloidních látek) přidává chlorid železitý. Ten váže organické látky v rozpustném koloidním stavu a tím brání jejich inhibitivnímu působení vysrážení kalových látek. Změnu celkové zásaditosti a hodnotu pH způsobí tento přídavek Fe solí. Přidáním

železitých iontů, které způsobují změnu pH, závisí na pufrační hodnotě vody (pH a celkové zásaditosti). Snížením pH na hodnoty z 6,9 – 7,8 na 6,0 – 7,5 se provádí přidavkem cca 30 mg/l  $\text{FeCl}_3$ . Je dávkován úměrně k průtočnému množství.

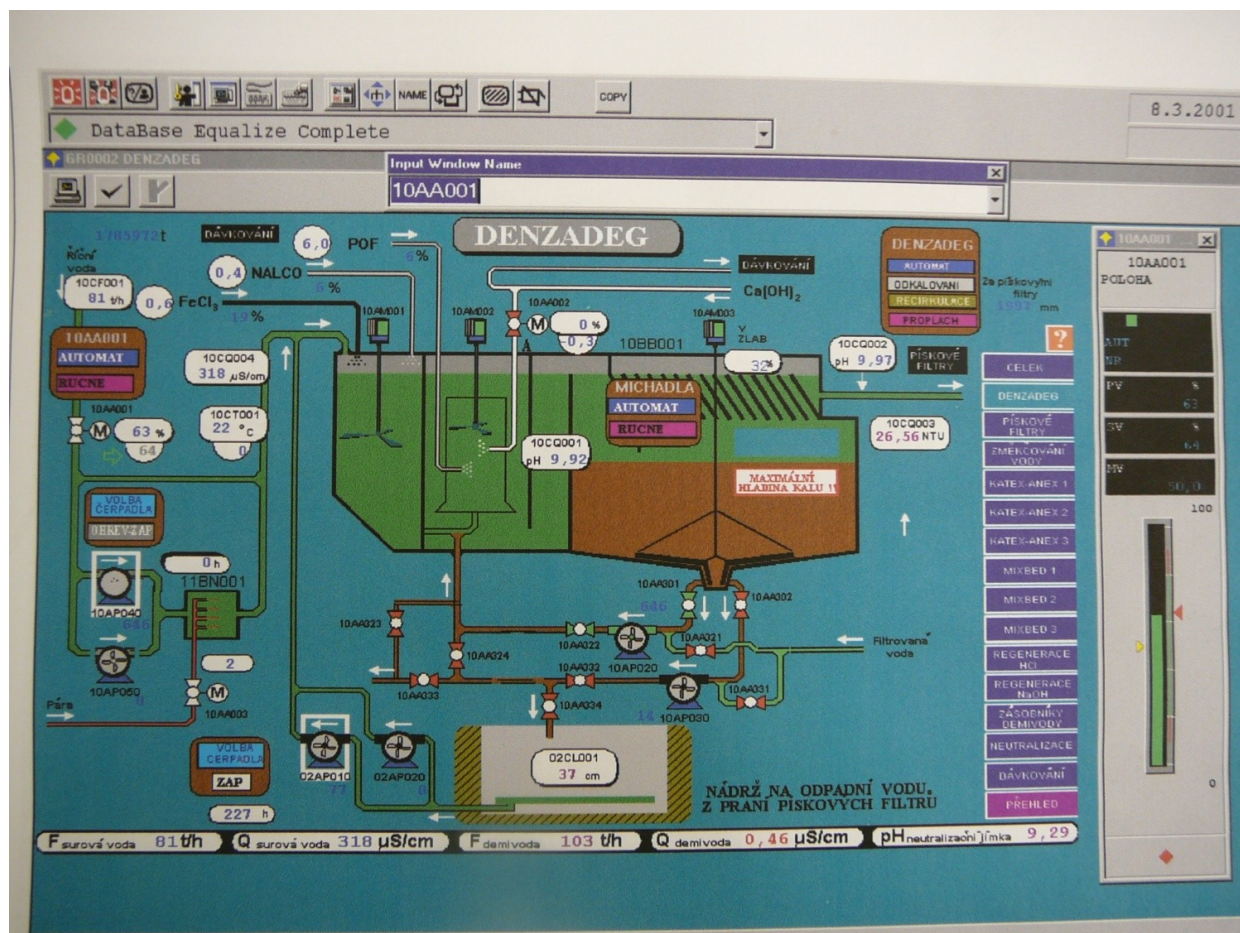


Obrázek 1:Densadeg

Dostatečné promíchání protékající vody zajišťuje instalované míchadlo. Voda poté odtéká spodem do **flokulační komory**.

Před vstupem vody do rychlofiltrů nebo sedimentačních nádrží je zařazena flokulační komora. Ta slouží k vytvoření separovatelných vloček. Zvyšují efektivitu a intenzivitu separace a tím umožňují použití menším velikostí usazovacích nádrží. Celkově ovlivňují kladně kvalitu upravené vody.

Většina kalu poté sedimentuje již ve spodní části **sedimentační nádrže**. V horní části nádrže jsou situovány moduly (svazek šestihranných trubek), kde dochází k oddělení pevné a kapalné fáze. Sedimentovaný kal poté sklouzává po dně šestihranné trubky do prostoru pod moduly. Zde sedimentuje. Vyčiřená voda naproti tomu stoupá a přitéká do odtokových žlabů. Běžně používající lamely jsou v Densadegu nahrazeny trubkovými moduly. Ty umožňují větší průtokovu rychlost a lepší účinek. Nádrž je vybavená shrabovacím zařízením. To umožňuje zabránění vzniku pevné usazeniny na dně nádrže. Uprostřed nádrže je shromažďovaný kal přečerpáván jako vratný kal zpětně do flokulační nádrže, nebo jako vratný kal do kanalizace.

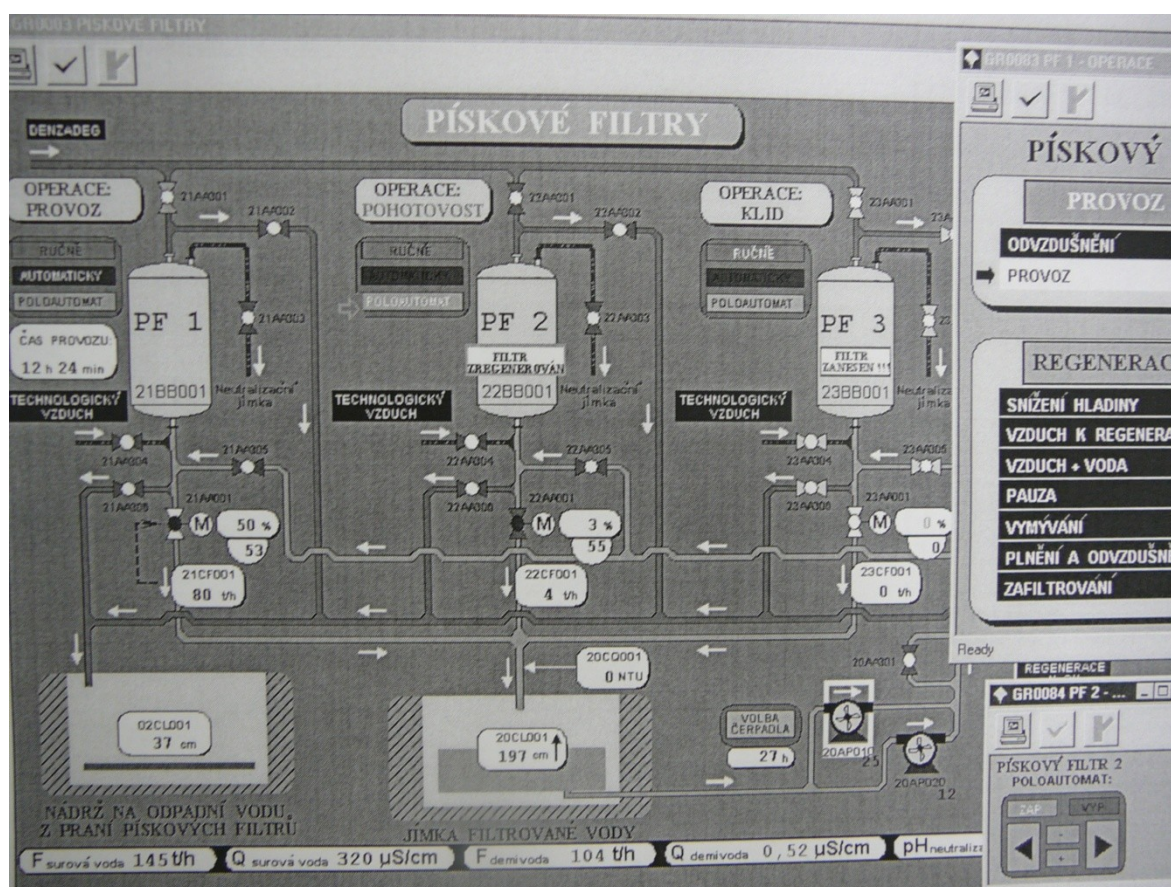


Obrázek 2: Densadeg schéma

Vyčištěná voda poté odtéká do pískových filtrů (Obrázek 3: Pískové filtry) přes sběrací žlaby. V těchto filterech se odstraňují vločky uhličitanu vápenatého, hydroxidu železitého a nežádoucí částice přirozeného charakteru z říční vody. Filtry jsou naplněny křemičitým pískem. Souběžně pracující pískové filtry jsou v provozu dva nebo tři. Průtok je regulován tak, aby hodnoty byly stejné, bez ohledu na to, jaký je stupeň znečištění jednotlivého filtru. Regulační armatury jsou regulovány pomocí řídicího systému. Tyto armatury jsou instalovány na výstupu z pískových filtrů dle údajů průtokoměru. V závislosti na výšce hladiny v jímce filtrované vody je celková produkce pískových filtrů regulována. Směr průtoku vody je shora dolů. Filtrovaná voda odtéká do jímky filtrované vody. Tato jímka se nachází pod tryskovým dnem. Rovnoměrné rozdělení průtoku po celé ploše filtru zajišťuje provedení těchto tryskových dnů. Trysky jsou rovnoměrně rozdělené,



a proto při praní pískového lože zajišťují stejnoměrný průtok prací vody a pracího vzduchu. Pod tryskovým dnem má každá tryska svůj dřík. Ten umožňuje vznik vzduchového polštáře, který zaručuje rovnoměrné rozdělení vzduchu na všechny trysky. Na pískových zrnech a v pórech pískového lože se usazují částice z protékající vody během filtrace. Stoupá tak odpor pískového lože (v závislosti na čase a na nečištění filtrované vody). Po čase (kdy odpor dosáhne nejvýše dovoleného) je filtr nutno zbavit usazených nečistot. Filtrace je ukončena po dosažení určitých parametrů. Poté je filtr od spodu nahoru vypírán pomocí kombinace vody a vzduchu. [2]



Obrázek 3: Pískové filtry

## 2.2. Demineralizace

Je docela obtížné najít definice a standardy pro destilovanou, demineralizovanou a deionizovanou vodu. Níže jsou popsány rozdíly mezi nimi.

**Destilace** je proces, kdy se voda vaří v destilační baňce, pak se páry kondenzují v chladičí jednotce (kondenzátoru) k návratu vody do kapalného stavu. Destilace se

používá k čištění vody. Při destilaci se využívá rozdílné těkavosti kapalin. Rozpuštěné nečistoty, jako jsou soli, zůstávají ve vařící se vodě, tedy v destilační baňce, zatím co čistá vodní pára odchází pryč. Nemusí fungovat v případě, že nečistoty jsou nestálé, kdy se také odpařují a kondenzují, jako např. některé rozpuštěné alkoholy. Destilace se pro tyto účely nevyužívá, je nevhodná.

**Deionizace** je proces využívající speciální vyrobené iontoměničové pryskyřice, které odstraní ionizované soli z vody. Může teoreticky odstranit 100 % soli. Deionizace však obvykle neodstraní organické látky, viry nebo bakterie, jediné skrze „náhodné“ pasti v pryskyřici a speciálně vyrobené silné pryskyřice, které odstraní gram-negativní bakterie.<sup>[5]</sup>

**Demineralizace** je proces, který se používá k odstranění minerálů z vody, tzv. procesy iontové výměny (odstranění solí – kationtů a aniontů z vody).<sup>[6]</sup>

Demineralizace v demineralizační stanici je prováděna stejnými způsoby, jako deionizace, lze tedy říci, že procesy jsou totožné.

### **Procesy iontové výměny a náplně kolon**

Jedná se o odstranění elektricky nabitých (ionizovaných) rozpuštěných látek vazbou na pozitivně nebo negativně nabitá místa na pryskyřici, když voda prochází skrz náplň. Tento proces se nazývá výměna iontů.

Tradičně se zařízení na výměnu iontů dělí na katexové membrány (katexy) a anexové membrány (anexy). Katexy obsahují záporně nabitě skupiny, jako jsou např.:  $\text{SO}_3^-$ ,  $\text{COO}^-$ ,  $\text{PO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}^-$ , atd., umožňují průchod kationtů, ale anionty odmítají. Zatímco anexy obsahují kladně nabitě skupiny, např.:  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NRH}_2^+$ ,  $\text{NR}_2\text{H}^+$ ,  $\text{NR}_3^+$ ,  $\text{PR}_3^+$ ,  $\text{SR}_2^+$ , atd., umožňují průchod aniontů, ale kationty odmítají. [7, 8] Podle způsobu připojení nabitých skupin do matrice nebo jejich chemickém složení, mohou být membrány rozděleny do homogenních a heterogenních membrán, ve kterých jsou nabitě skupiny chemicky vázané nebo smíchány s membránou matrice. Nicméně většina z praktických membrán iontoměničů jsou poměrně homogenní a skládají se buď z uhlovodíků, nebo fluorovaných uhlovodíkových polymerů. [9]

### **Náplně (pryskyřice) mohou být následující:**

#### **a) Kation silné kyseliny + anion silné zásady.**

Tyto systémy se sestávají ze dvou nádob. Jedna obsahuje katex ve formě vodíku  $H^+$  a druhá anex pryskyřici v  $OH^-$  formě. Voda protéká katexové koloně, načež se všechny kationty vymění za vodíkové ionty. Tato voda poté protéká v anex koloně a zde jsou všechny záporné ionty vyměněny za hydroxidové ionty. Ty se poté sloučí s vodíkovými a vznikne voda ( $H_2O$ ). [10] Tyto systémy odstraní všechny ionty, včetně oxidu křemičitého. Ve většině případů je vhodné snížit tok iontů prošlých přes anexy vhodnou instalací jednotky, pro odstranění  $CO_2$  mezi jednotlivé kolony. Tím se snižuje obsah  $CO_2$  do několika mg/l.

#### **b) Kation silné kyseliny + anion slabé zásady + anion silné zásady.**

Tato kombinace je variace na předchozí. To poskytuje stejnou kvalitu vody a zároveň nabízí ekonomické výhody při ošetřování vody, která obsahuje vysoké zatížení silných aniontů (chloridy, sírany). Systém je vybaven extra slabou anexovou kolonou před konečným silnou anexovou kolonou. Volitelná  $CO_2$  jednotka může být instalována buď za katexem, nebo mezi dvěma anexy. Regenerace anexů probíhá NaOH nejprve přes silný, poté přes slabý anex. Tato metoda vyžaduje méně louhu. Pokud surová voda obsahuje vysoký podíl organických látek, slabý anex chrání silný. [11]

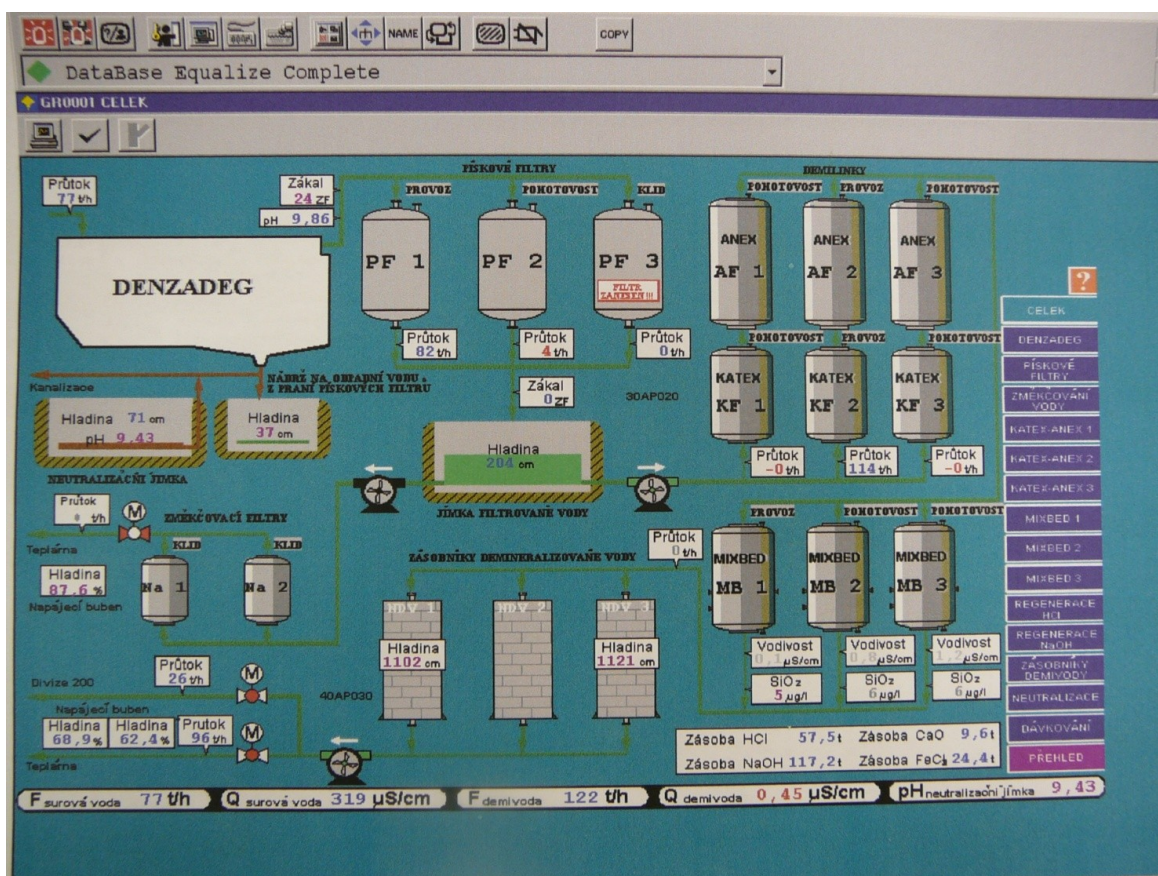
#### **c) Smíšené kolony: mixed – bed.**

Zde jsou katexové a anexové pryskyřice promíchány a obsaženy v jedné tlakové nádobě. Tyto dvě pryskyřice se smísí mícháním se stlačeným vzduchem tak, aby otvor lůžka mohl být jako nekonečné množství katexů a anexů v sérii. [10,11]

**Demineralizační stanice** (Obrázek 4: demineralizační stanice) se skládá ze tří linek. Tyto linky mají každá výkon  $100m^3/h$ . Pouze v zimě, kdy je spotřeba vody větší, jsou v provozu souběžně dvě linky. V létě naopak, kdy je spotřeba vody menší, je v provozu pouze jedna linka. Pokud to ale provoz vyžaduje, mohou jet všechny tři linky najednou. Jeden pracovní cyklus linek trvá nejméně 14 h. Vypočteno při jmenovitém výkonu. Při 24h provozu je nutno 1,7 regenerací při provozu jedné linky a při provozu dvou linek 3,4



regenerací. Spotřeba vody činí cca 70 m<sup>3</sup>/h (pro regeneraci). Každých 7 hodin vznikne 70m<sup>3</sup> odpadní vody (provoz dvou linek).



Obrázek 4: demineralizační stanice

Při regeneraci demineralizační linky je zapotřebí 30% HCl a 50% NaOH. Tři linková demineralizační stanice se skládá tedy z:

- 3 ks jednokomorové katex filtry (výkon 3× 100 m<sup>3</sup>/h),
- 3 ks dvoukomorové anex filtry (výkon 3× 100 m<sup>3</sup>/h),
- 3 ks Mixbed filtry (výkon 3× 100 m<sup>3</sup>/h).

Nová linka musí být najeta ihned po odstavení vyčerpané linky. Teprve, až se bude nová linka nacházet v programu „demineralizace“, je vyčerpaná linka odstavena. Až nyní se provádí její regenerace. Tento proces je automatizován. Automatické přechody do dalších kroků taktéž probíhají automaticky (dosažení stavu „pohotovost“). Odpadní voda z regenerace odtéká do neutralizační jímky. Zde se pomocí HCl nebo NaOH neutralizuje (pH 6,5<8,5). Takto upravená voda poté odchází do kanalizace.



U **katexových filtrů** (Obrázek 5: Katexový filtr) (jednokomorový) protéká voda zespoda nahoru při provozu. Filtr je složen ze silně kyselého katexu. Filtr je válcový. V této části filtru vytváří dvě trysková dna komoru. Tato komora je téměř zcela zaplněna katexovou hmotou. Mezi katexovým ložem a vrchním tryskovým dnem se nachází vrstva inertní pryskyřice. Tak se zabrání ucpání trysek. Tato pryskyřice má větší zrnění než katexová hmota, ale menší hustotu než voda, a proto plave neustále pod horním tryskovým dnem. Lze ji tedy lehce oddělit od katexové hmoty. Je to velmi důležité, aby nebyl při externím praní inertní materiál z filtru vyplaven.



**Obrázek 5: Katexový filtr**

Voda pro úpravu protéká od zdola nahoru přes silně kyselý katex, proces je znázorněn rovnicí 1. Kdežto regenerace probíhá v protiproudu, tedy od shora dolů, podle rovnice 2.

Tímto katexem je možné odstranit veškeré obsažené kationty v upravované vodě. Je při tom ale nutný také přebytek regenerační kyseliny.

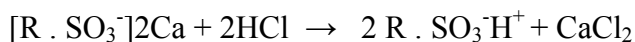
Demineralizace

Rovnice 1



Regenerace

Rovnice 2



Regenerace katexů se provádí zředěnou kyselinou. 6% HCl se přivádí shora a protéká silně kyselým katexem. Nakonec odtéká do neutralizační jímky.

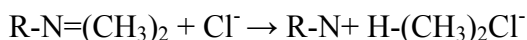
U **anexového filtru** (dvoukomorové) při demineralizaci protéká voda zespodu nahoru. Válcová část filtru je ohraničena dvěma komorami. Tyto komory ohraničují tři trysková dna a jsou naplněny rozdílně zásaditými anexy. Spodní komora je naplněna slabě bazickým anexem a horní komora silně bazickým. Tyto anexy zachycují organická znečištění a tyto látky jsou poté vypírány louhem při regeneraci. V každé komoře anexového filtru najdeme inertní materiál. Ten slouží jako ochrana tryskových dn. Vše je kontrolováno z velínu. Zde se kontroluje především tlaková ztráta při průtoku filtrem a hodnota vodivosti. Dle těchto hodnot jsou řízeny funkční kroky (cirkulační praní, praní při startu apod.).

Voda v anexovém filtru protéká zespodu nahoru. Nejprve přes slabě bazický anex a poté protéká přes silně bazický anex v provozním cyklu.

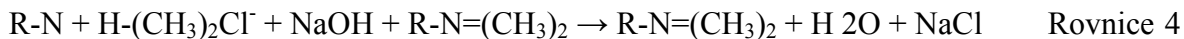
Regenerace anexových filtrů probíhá zespoda nahoru. Je to výhodné z toho důvodu, že louh protékající nejprve silně bazickým anexem a poté potřebné množství i slabě bazickým. **Slabě bazický anex** na sebe váže anionty silných kyselin ( $Cl^-$ ,  $SO_4$ ,  $NO_3^-$ ) z vody, která přitéká ze silně kyselého katexu, dle rovnice 3. Regenerace slabě bazického anexu probíhá podle rovnice 4.

Demineralizace

Rovnice 3



Regenerace

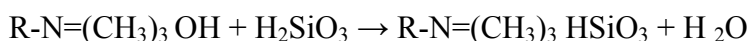


**Silně bazický anex** má na starosti desilikaci (odstranění) slabě disociovaných kyselin (kyselina uhličitá, kyselina křemičitá), které prošly slabě bazickým anexem, dle rovnice 5.

Regenerace anexů (rovnice 6) se provádí zředěným louhem. 3% NaOH se přivádí shora a protéká nejprve vrstvou silně bazického anexu, poté vrstvou slabě bazického anexu. Nakonec odtéká do neutralizační jímky.

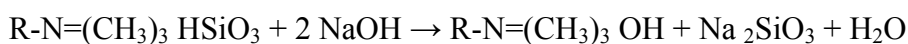
Demineralizace (desilikace)

Rovnice 5

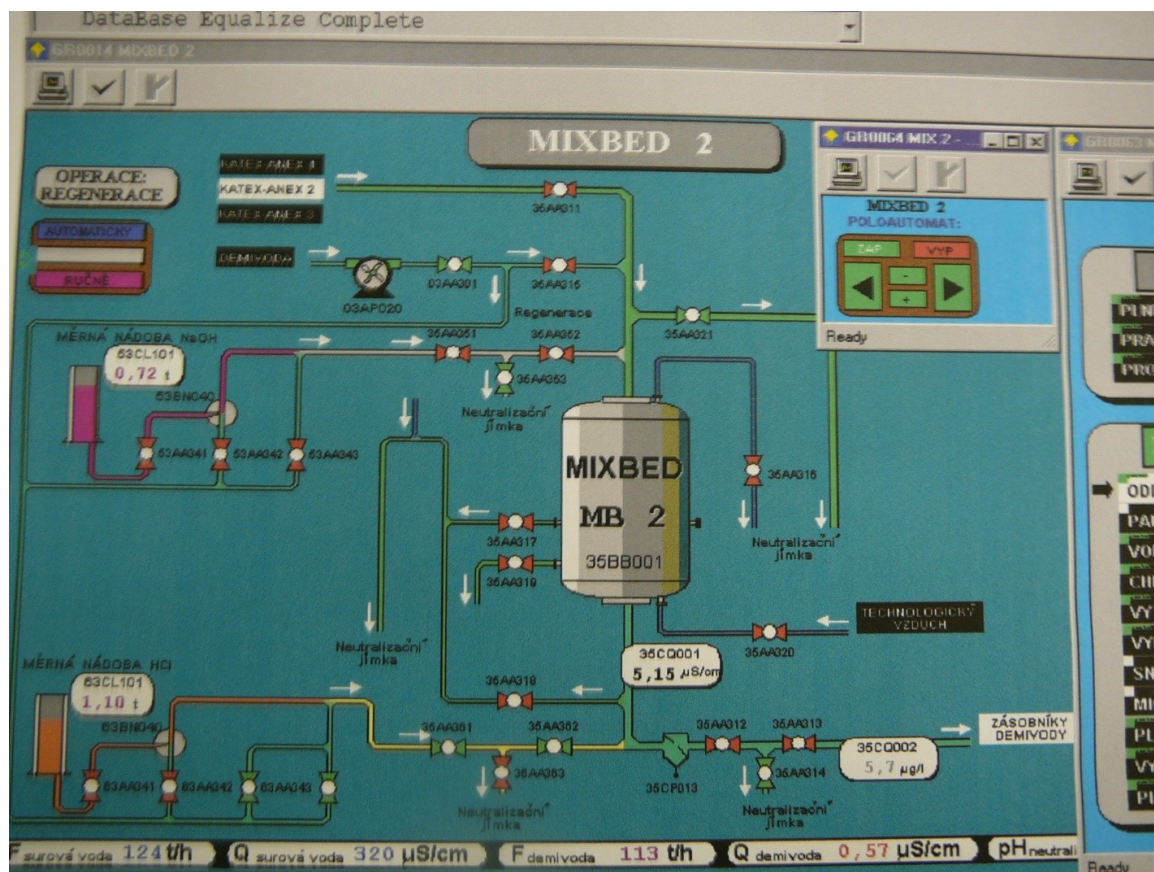


Regenerace

Rovnice 6



Koncentrované regenerační chemikálie (30% HCl, 50% NaOH) jsou ředěny regenerační vodou. Ředěná HCl do katexového filtru přitéká shora. Protéká přes silně kyselý katex a poté do neutralizační jímky. Ředěná NaOH do anexového filtru přitéká shora. Protéká nejprve přes vrstvu silně bazického anexu, potom přes vrstvu slabě bazického anexu. Poté odtéká do neutralizační jímky. **Mixed filtry** (Obrázek 6: Mixed filtr) slouží především k dočištění demineralizované vody. Také se využívají jako bezpečnostní filtry proti nepravdělnosti a poruchám katexových a anexových filtrů. Skládají se ze směsi silně kyselého katexu a silně bazického anexu. V průběhu demineralizace se tyto iontové hmoty důkladně promíchávají.



Obrázek 6: Mixbed filtr

Aby bylo možné tyto ionexové hmoty regenerovat, musí se napřed rozdělit. K rozdělení do dvou vrstev dochází při praní. Praní je protisměrné a tedy zdola nahoru. Horní vrstva je tvořena silně bazickým anexem a dolní ze silně kyselého katexu.

Ostatní chemikálie je po ukončení regenerace nutno vytěsnit a vyprat. Hladina vody je poté snížena k hladině ionexových hmot. Poté dojde k naplnění filtru vodou odshora. Ionexové hmoty je nutno je znovu promíchat, děje se tak pomocí vzduchu.

### 2.3. Úprava neutralizační vody z regenerace

Odpadní voda je teoreticky neutrální. Vyplývá to z vypočtených přebytků chemikálií z regenerace, které jsou ekvivalentní. V praxi je však většinou nutný nepatrný přídavek neutralizačních chemikálií (max. 0,5 k 100 % látek).

Regenerace louhem a ředěnou kyselinou se provádí u katexových, anexových a MB – filtrů. Do neutralizační jímky přitékají výluhy s  $\text{pH} < 1$  a  $> 10$ . Po smíchání obou výluhů vznikne odpadní voda. Toto  $\text{pH}$  vody odpovídalo požadavkům kladeným na vodu

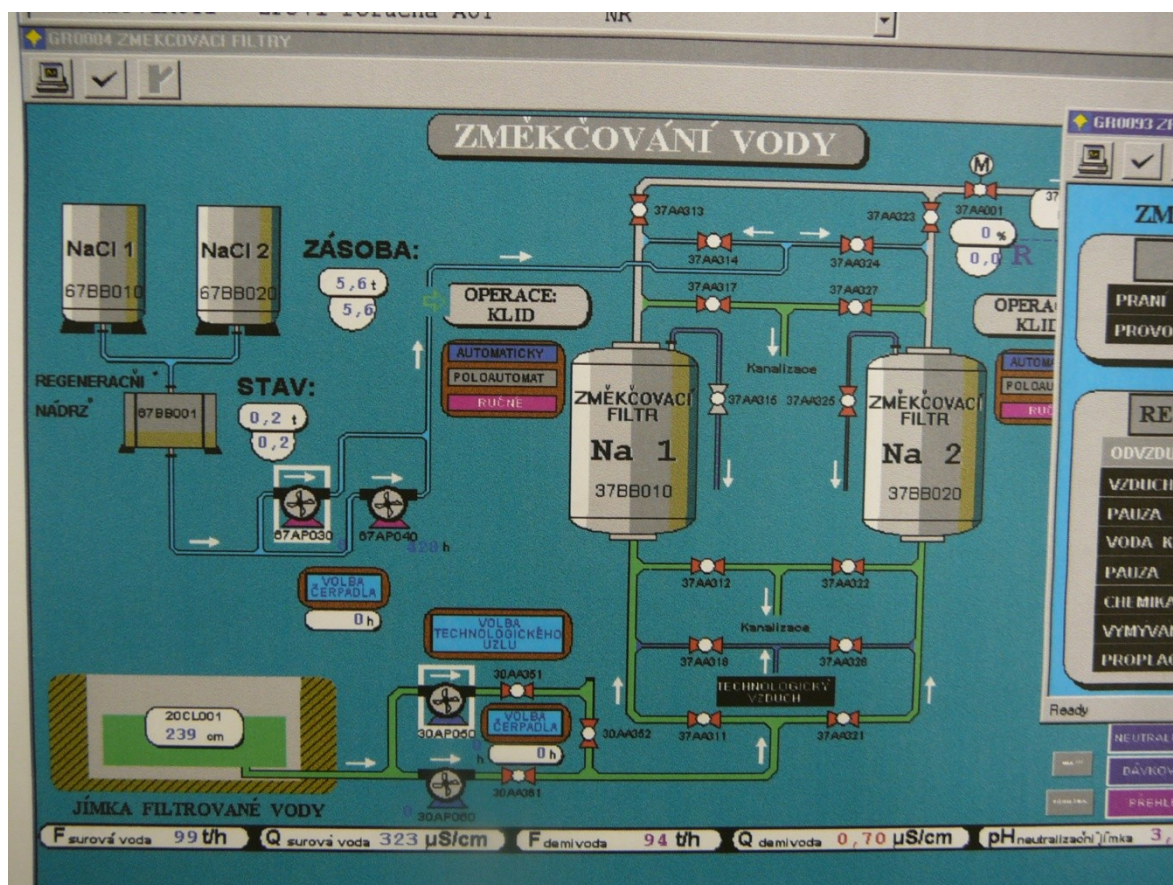


odváděnou do kanalizace. Až přidavkem NaOH nebo HCl docílíme vody s požadovaným pH 6,5 – 8,0.

## 2.4. Změkčování

Změkčená voda je důležitá pro doplňování topných systémů. Provádí se na změkčovacích filtrech (Obrázek 7: Změkčovací filtry).

Je nutno odstranit kation hořčíku a vápníku, tzv. tvrdost vody. Ta nepříznivě působí především při zahřívání. Dochází totiž k vysrážení rozpuštěných solí a vytvoření kotelního kamene. Změkčuje se v sodíkovém cyklu. Ten funguje tak, že se kationty vápníku a hořčíku nahradí kationtem sodíku. Tento sodík se do filtrů dodává ve formě NaCl ze zásobníků pomocí čerpadel. Filtrovaná voda se do změkčovacích filtrů čerpá z jímky filtrované vody.



Obrázek 7: Změkčovací filtry

Změkčovací filtr se provozuje zdola nahoru. Než se filtr spustí do provozu, je nutné ionex protiproudě vymýt na kanál. Až když se dosáhne kvality změkčené vody na provozní parametry, lze filtr uvést do provozu. <sup>[2]</sup>

### 3. MONITOROVÁNÍ KVALITY VOD

Kontroly a stanovení vod a uhlí je nutné provádět, aby se předešlo poruchám v provozu. Proto jsou přítomny laboratoře, které se o tyto rozборы a stanovení starají. Stanovení provádějí odborní pracovníci a výsledky se zapisují do laboratorních deníků. Tyto výsledky v denících se poté zavádějí do počítačových systémů a odesílají se dál ke zpracování (porovnávají se výsledky se standardy). Provoz disponuje třemi laboratořemi, a to laboratoř chemických ukazatelů vod, laboratoř skládky paliva a laboratoř paliva chemických ukazatelů vod.

V laboratoři CHÚV (Obrázek 8: laboratoř chův) se kontrolují především vody demineralizační linky (chemické režimy chemické úpravy vody), kotelny, strojovny, teplárny, chladicích okruhů. Dále pak složení topných plynů a chemické režimy výroby páry v kotelně.



Obrázek 8: laboratoř chův



V laboratři skládky paliva se především chystají vzorky pro další použití v laboratoři paliva CHÚV a posouzení obsahu vody a stanovení zrnitosti uhlí (vorkování surového uhlí z přísunu, surového uhlí do spotřeby, stanovení zrnitosti práškového uhlí, stanovení obsahu hrubé vody, úprava vzorku).

V laboratoři paliva (Obrázek 9: Laboratoř paliva) CHÚV analytické rozborů (černé uhlí, popílek, škvára) a stanovení výhřevnosti. <sup>[3]</sup>



**Obrázek 9: Laboratoř paliva**

V praxi jsem prováděla pouze kontrolu chemických režimů chemické úpravy vody.



### 3.1. Odměrné metody

Odměrná analýza se řadí do chemických metod analytické chemie kvantitativní. Je založena na chemické reakci mezi stanovovanou látkou a odměrným roztokem. Metody odměrné analýzy, zejména metoda instrumentálních elektrochemických titrací, jsou nejpoužívanější v analytické praxi. Tyto metody mají vysoké metrologické vlastnosti, jednoduchost přístrojů a operací, možnosti automatizace. Možnost teoretického výpočtu (prognózy) je vrcholem výzkumné práce. To je obzvláště důležité, protože umožňuje úsporu času pro vytvoření postupů. V oblasti vývoje analytických činidel používaných v titračních metodách analýzy v posledních 20 letech zaznamenal obrovský pokrok, který byl vyroben z aplikace spontánního vývoje prvků k elaboraci vývoje teorie principů při acidobazických (neutralizačních) reakcích, komplexometrických metod <sup>[12 - 17]</sup> a srážecích reakcích. <sup>[18 - 20]</sup> Vývoj je možné vykreslit pomocí teoretických křivek titrace a odhad chyb potenciometrických titrací pomocí rovnovážných konstant. <sup>[21 - 25]</sup>

#### 3.1.1. Stanovení neutralizačních kapacit

Neutralizační kapacita vody (NK) je definována jako látkové množství silné jednosytné kyseliny či zásady (mmol), které spotřebují 1 l vody, aby dosáhly zvolené hodnoty pH.

Rozlišuje se kyselinová neutralizační kapacita (KNK) a zásadová neutralizační kapacita (ZNK). Zda jde o KNK nebo ZNK určujeme podle toho, zda se během stanovení snižuje nebo zvyšuje pH.

Podle pH vzorku určíme, zda se vzorek vody bude stanovovat titrací kyseliny či zásady. Každý vzorek je možné určit pouze dvěma neutralizačními kapacitami, tzn., že je možné stanovit pouze dvě možné kapacity pro každý vzorek.

Nejvýznamnějším tlumivým systémem disponují vody přírodní, pitné a užitkové (CO<sub>2</sub> - volný, - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, - CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

KNK<sub>8,3</sub> se stanovuje pro vzorky vod, jejichž pH >8,5. Přepokládá se, že ve vzorku převažuje systém CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Při tomto stanovení probíhají reakce dle rovnice 7 a rovnice 8. Jako indikátor se používá fenolftalejn.



Rovnice 7



Pokud je  $\text{pH} = 4,5$ , pak se stanovuje  $\text{KNK}_{4,5}$  a probíhá reakce dle rovnice 9.



Jako indikátor bodu ekvivalence se na konci titrace se používá methyloaranž nebo směsný indikátor (bromkresolová zeleň a methylčerveně). Vzorky mohou být ale zakalené nebo barevné a konec titrace se pak určuje potenciometricky.

Vody přírodní a užitkové mají  $\text{pH} = 4,5 - 8,3$ , proto se nejčastěji stanovuje  $\text{KNK}_{4,5}$ .

**Výsledek je uváděn:** jednotka  $\text{mmol.l}^{-1}$ , zaokrouhlení na tři platné číslice.

$$\text{Výpočet: } \text{KNK} = \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{vz}}} \cdot 1000$$

Kde je:

$\text{KNK}$ ...kyselinová neutralizační kapacita ( $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ),

$c_{\text{HCl}}$ ...látková koncentrace kyseliny chlorovodíkové ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ),

$V_{\text{vz}}$ ...objem vzorku (l),

$V_{\text{HCl}}$ ...objem odměrného roztoku kyseliny chlorovodíkové (l).

**Rušivé vlivy:** zákal, zabarvení, volný chlor, přítomnost dalších tlumivých systémů (boritany, fosforečnany, křemičitany, huminové látky aj.)

Pokud je  $\text{pH}$  hodnota daného vzorku (zkoumaného) nižší než  $\text{pH} < 4,5$  stanovuje se  $\text{ZNK}_{4,5}$  podle rovnice 10. Jako indikátor se používá methyloaranž nebo směsný indikátor.



Při titraci zásadou do  $\text{pH} < 8,3$  se stanoví  $\text{ZNK}_{8,3}$ . Probíhá reakce dle rovnice 11. Indikátorem je fenolftalejn.



Hodnotu  $\text{pH} = 4,5 - 8,3$  vykazují především přírodní a užitkové vody, proto se nejčastěji stanovuje  $\text{ZNK}_{8,3}$ . Vzorky, které jsou zakalené nebo barevné se určují potenciometricky.

**Výsledek je uváděn:** jednotka  $\text{mmol.l}^{-1}$ , zaokrouhlení na dvě platné číslice.

$$\text{Výpočet: } ZNK = \frac{c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{V_{vz}} \cdot 1000$$

Kde je:

ZNK...zásadová neutralizační kapacita ( $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ),

$c_{NaOH}$ ...látková koncentrace hydroxidu sodného ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ),

$V_{NaOH}$ ...objem odměrného roztoku hydroxidu sodného (l),

$V_{vz}$ ...objem vzorku (l). <sup>[1]</sup>

### 3.1.2. Chloridy

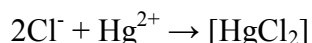
Běžnou součástí věšny přirozených vod jsou také chloridy. Vyskytují se v různé koncentraci (jednotky  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  až po několik  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Především v průmyslových vodách (silně znečištěných) a ve vodách minerálních či mořských.

Chloridy jsou základními anionty v přírodních vodách. Vyšší obsah chloridů geologického původu není v našich povrchových a prostých podzemních vodách obvyklá. Vyšší obsah chloridů poukazuje na znečištění splaškovými a některými průmyslovými odpadními vodami.

Pro vody povrchové je mezní hodnota koncentrace chloridů 250mg/l (Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod).

Stanovují se u pitných, odpadních a povrchových vod. Nejčastěji se stanovení provádí argentometricky a merkurimetricky. V demineralizační stanici se chloridy stanovují pouze u vod povrchových (tzv. surová voda).

Stanovení chloridů merkurimetricky se děje při  $\text{pH} = 2,5$ . Titruje se odměrným roztokem dusičnanu rtuťnatého do vzniku rozpustné, ale jen málo disociované komplexní sloučeniny  $[\text{HgCl}_2]$  podle rovnice 14. Indikátorem konce titrace je směsný indikátor.



Rovnice 14

**Rozsah užití:** pro koncentrace 4  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  - 400  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (bez úpravy). Podle koncentrace chloridů se poté volí odpovídající koncentrace odměrného roztoku dusičnanu rtuťnatého např.  $c = 0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  nebo  $c = 0,025 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

**Výsledek je uváděn:** v jednotkách  $\text{mg.l}^{-1}$  nebo v  $\text{mmol.l}^{-1}$ , zaokrouhlení výsledku na 3 platné číslice.

**Rušivé vlivy:**  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Fe,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , barva roztoku, zákal

$$\text{Výpočet: } m_{\text{Cl}^-} = 2 \cdot \frac{c_{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2} \cdot (V_{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2} - V_{\text{sl}}) \cdot M_{\text{Cl}^-}}{V_{\text{vz}}} \cdot 1000$$

Kde je:

$m_{\text{Cl}^-}$ ...hmotnostní koncentrace chloridů ( $\text{mg.l}^{-1}$ ),

$c_{\text{AgNO}_3}$ ...látková koncentrace odměrného roztoku dusičnanu stříbrného ( $\text{mol.l}^{-1}$ ),

$M_{\text{Cl}^-}$ ...molární hmotnost chloridů ( $\text{g.mol}^{-1}$ ),

$V_{\text{AgNO}_3}$ ...objem dusičnanu stříbrného spotřebovaného při stanovení (l),

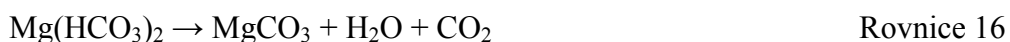
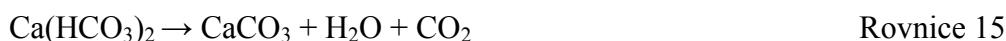
$V_{\text{sl}}$ ...objem dusičnanu stříbrného spotřebovaného na slepé stanovení při titraci 100 ml destilované vody (l),

$V_{\text{vz}}$ ...objem vzorku (l).

### 3.1.3. Celková tvrdost vody

Tvrdost vody způsobují hlavně vápenaté a hořečnaté soli, které jsou rozpuštěné ve vodě a vázané jako hydrogenuhličitan, sírany a chloridy.

**Tvrdost karbonátová (přechodná)** je způsobena dvěma látkami, a to  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  nebo  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , které jsou tepelně nestabilní a rozkládají se zahřátím podle rovnic 15 a 16.

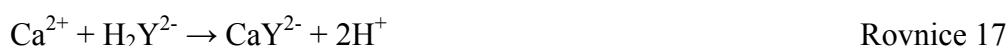


**Tvrdost nekarbonátová (trvalá, stálá)** je způsobena především sírany a chloridy  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  iontů.

**Celková tvrdost vody** je daná součtem obou tvrdostí. Stanovení se provádí u pitných, podzemních i povrchových vod.

Stanovení celkové tvrdosti vody je založeno na titraci chelatonem 3 (EDTA – disodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové). Pro určení bodu ekvivalence, a tedy konce

titrace, se využívá metalochromní indikátor eriochromová čern T. Ten v průběhu titrace v prostředí amoniakálního tlumivého roztoku  $\text{pH} = 10$  tvoří s vápenatými a hořečnatými ionty vínově červený komplex. V průběhu titrace EDTA jako první reaguje s volnými vápenatými a hořečnatými ionty v roztoku. Teprve poté dojde k přechodu vápenatých iontů vázaných indikátorem do komplexu s EDTA a protože je stabilita komplexu až na druhém místě, dochází k vytěsnění hořečnatých iontů. Barevný přechod do modra lze znázornit rovnicemi 17 a 18.



**Rozsah užití:** touto metodou lze stanovit pitné, podzemní a povrchové vody, pro rozsah od  $0,05 \text{ mmol.l}^{-1}$  -  $5 \text{ mmol.l}^{-1}$ , musí se udržovat  $\text{pH} = 10$ .

Dle vyhlášky MZd č. 252/2004 Sb., je  $\text{DH} = 2,0 - 3,5 \text{ mmol.l}^{-1}$  pro stanovení sumy Ca a Mg.

**Rušivé vlivy:** kovy reagující s EDTA (Zn, Sr, Ba, Pb, Cd, Mn), kovy blokující indikátor (Fe, Co, Al, Ni, Cu), nerozpuštěné látky a těžké kovy.

**Výsledek se udává:** jednotka  $\text{mmol.l}^{-1}$ , zaokrouhlení výsledku na 3 platné číslice.

**Tabulka 1 charakteristika vody**

| Charakteristika vody | c ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) |
|----------------------|----------------------------|
| Velmi měkká          | $< 0,5$                    |
| Měkká                | $0 - 1,25$                 |
| Středně tvrdá        | $1,26 - 2,50$              |
| Tvrdá                | $2,51 - 3,75$              |
| Velmi tvrdá          | $> 3,76$                   |

### Výpočet:

$$c_{Ca+Mg} = \frac{c_{EDTA} \cdot V_{EDTA}}{V_{vz}} \cdot 1000$$

Kde je:

$c_{(Ca+Mg)}$ ...látková koncentrace vápníku a hořčíku ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ),

$c_{EDTA}$ ...látková koncentrace odměrného roztoku EDTA ( $\text{mol.l}^{-1}$ ),

$V_{EDTA}$ ...objem odměrného roztoku EDTA spotřebovaného při titraci (l),

$V_{vz}$ ...objem vzorku vzatý k analýze (l). <sup>[1]</sup>

## 3.2. Elektrochemické metody

Elektrochemie zahrnuje chemické jevy spojené s oddělením a přenosem náboje. <sup>[29]</sup>

### 3.2.1. Stanovení pH

**Definice:** hodnota pH je záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů.

$$\text{pH} = -\log a(\text{H}_3\text{O}^+)$$

Hodnotu určujeme kolorimetricky nebo elektrometricky (spektrofotometricky nebo potenciometricky). U kolorimetrických metod využíváme indikátory, které se různě barví při různém pH. Přesnost u těchto metod je velmi omezená, vyhovuje totiž pouze pro terénní měření. Principem elektrometrické metody je měření elektromotorické síly elektrochemického článku. Ten je tvořen vzorkem, skleněnou a srovnávací elektrodou. Metoda je univerzální, lze ji použít u všech druhů vod, i odpadních v rozsahu  $\text{pH} = 3 - 10$ .

Rušivé vlivy při měření jsou teplota, některé plyny a organické látky, znečištění elektrod.

### 3.2.2. Stanovení konduktivity

Konduktivita (také měrná elektrická vodivost) patří mezi fyzikální veličiny. Popisuje schopnost látky dobře vést elektrický proud. Vysokou hodnotu konduktivity má ta látka, která je dobrým vodičem, špatně vodící látky mají nízkou hodnotu konduktivity.

Konduktivita je závislá hlavně na teplotě, především u polovodičů je tato závislost velmi významná.

Stanovení konduktivity patří mezi běžné součásti chemického rozboru vod. Poskytuje okamžitý odhad koncentrace iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace. Vodivost elektrolytů je závislá na koncentraci a disociačním stupni elektrolytů, pohyblivosti iontů v elektrickém poli a teplotě roztoku.

Měrná vodivost  $\kappa$  [ $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ] se používá pro hodnocení vodivosti:

$$\kappa = G \frac{l}{S} \quad (\text{S} \cdot \text{m}^{-1})$$

Měřicí cela má geometrické rozměry a tyto jsou zahrnuty do odporové konstanty vodivostní nádoby CR. Zjišťuje se měřením vodivosti standardního roztoku KCl ( $c = 0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) o známé měrné vodivosti.

Ze známé CR a změření vodivosti vody vypočteme měrnou vodivost  $\kappa$  :

$$\kappa = C_R \cdot G \quad (\text{S} \cdot \text{m}^{-1})$$

Nerozpuštěné látky a kovové částice mohou narušit stanovení. Pozor si musíme dát na znečištění elektrod tuky, dehty apod. <sup>[1]</sup>

## 4. PRAKTICKÁ ČÁST

Nyní se zaměřím na samotnou analýzu vod a rozborů výsledků. Odběry a analýzy vod jsem prováděla každé ráno po dobu 14 dní, mimo víkendy, kdy analýzy prováděly pouze laborantky. Provoz funguje nepřetržitě a je nutné mít vždy srovnání výsledků z rozboru vod za každý den v případě poruchy na provozu nebo také proto, aby k případné poruše nedošlo vůbec. Vzorky vod jsem odebírala až po té, co jsem vodu nechala odtéci. Je to z toho důvodu, aby byl vzorek homogenní a čerstvý. Každý den bylo třeba odebrat z provozu demineralizační linky 6 vzorků vod. Celkově tedy 84 vzorků za 14 dní (bez víkendů tedy 60 vzorků).

### 4.1. Metodika odběru vzorků

Vzorky jednotlivých vod se odebíraly z výpustí jednotlivých odběrových míst. Bylo důležité používat sterilní odběrové nádoby (vzorkovnice) a zároveň dbát, aby nedošlo ke znečištění, či poškození výpustí odběrových míst. Tím by se značně narušily výsledky analýz. Vzorkování se provádělo dle pokynů provozu. Protože laboratoř se nacházela v těsné blízkosti demineralizační stanice, nebylo třeba vzorky nijak konzervovat a bylo možné vzorky ihned analyzovat.

Vzorkování jsem prováděla vždy do PE lahví o objemu 1 000 l, uzavíratelné. Plnily se až po hrdlo a nesměly být přítomny vzduchové bubliny. Analýza se poté musela provést ihned po odběru. Všechny vzorkovnice se důkladně vymývaly zředěnou kyselinou chlorovodíkovou ( $c = 2 \text{ mol.l}^{-1}$ ) a následně se důkladně propláchly destilovanou vodou. Při odběru vzorků jsme vzorkovnice nakonec ještě propláchli daným vzorkem.

### 4.2. Metodika analýzy

Pro analýzy vod jsem používala především odměrné metody, dále pak optické a elektrochemické metody.

#### 4.2.1. Stanovení neutralizačních kapacit – stanovení $\text{KNK}_{8,3}$

**Chemikálie:** Používány jsou výhradně činidla zaručené analytické čistoty (p.a.) a pouze destilovaná voda, nebo také voda podobné jakosti.



- HCl o  $c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ,
- indikátor fenolftalein (0,5 % indikátorový roztok - 0,5 g fenolftaleinu se rozpustí v 50 ml 95 % ethanolu a naředí se 50 ml demineralizované vody; do roztoku se po kapkách přidává roztok NaOH ( $0,01 \text{ mol.l}^{-1}$ ) do bodu ekvivalence což je první patrné růžové zbarvení).

**Postup zkoušky:** Do 100ml vzorku jsem doplnila dvě kapky indikátoru fenolftaleinu a titrovala jsem roztokem HCl ( $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ) do bodu ekvivalence, který se projevil odbarvením růžového roztoku. Počet ml spotřebované kyseliny HCl udávala  $\text{KNK}_{8,3}$  v mmol/l. Dle ČSN EN ISO 9963-1 (757371).

#### 4.2.2. Kontrola chemických režimů – stanovení $\text{KNK}_{4,5}$

**Chemikálie:** Používány jsou výhradně činidla zaručené analytické čistoty (p.a.) a pouze destilovaná voda, nebo také voda podobné jakosti.

- HCl ( $c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ),
- Směsný indikátor (0,2 g bromkresolové zeleně se rozpustilo ve 100 ml 96% ethanolu, 0,015 g methylové červeně se rozpustilo v 50 ml 96% ethanolu; oba roztoky se smísily a uchovávají se v tmavé láhvi).

**Postup zkoušky:** K 100 ml vzorku jsem přidala směsný indikátor a titrovala jsem roztokem HCl ( $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ) ze zelenomodrého až do šedivě-růžového zbarvení. Počet ml spotřebované kyseliny odpovídalo  $\text{KNK}_{4,5}$  v mmol/l. Dle ČSN EN ISO 9963-1 (757371)

#### 4.2.3. Kontrola chemických režimů – stanovení $\text{ZNK}_{4,5}$

**Chemikálie:** Používány jsou výhradně činidla zaručené analytické čistoty (p.a.) a pouze destilovaná voda, nebo také voda podobné jakosti.

- NaOH  $c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ,
- Směsný indikátor (0,2 g bromkresolové zeleně se rozpustilo ve 100 ml 96% ethanolu; 0,015 g methylové červeně se rozpustilo v 50 ml 96% ethanolu; oba roztoky se smísily a uchovávají se v tmavé láhvi).

**Postup zkoušky:** Ke 100 ml vzorku jsem přidala tři kapky směsného indikátoru a titrovala jsem roztokem NaOH ( $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ) až do barevné změny indikátoru (modré zabarvení). Počet ml spotřebovaného hydroxidu odpovídalo  $\text{ZNK}_{4,5}$  v mmol/l. Dle ČSN 75 7372.

#### 4.2.4. Kontrola chemických režimů – stanovení chloridů

**Chemikálie** Používány jsou výhradně činidla zaručené analytické čistoty (p.a.) a pouze destilovaná voda, nebo také voda podobné jakosti.

- Dusičnan rtuťnatý o  $c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ,
- Směsný indikátor (difenylkarbazon s bromfenolovou modří: 0,5 g difenylkarbazonu a 0,05 bromfenolové modře se rozpustilo ve 100 ml 96% etanolu, roztok se musí uchovávat v tmavé láhvi),
- Kyselina dusičná o  $c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ ,
- Hydroxid sodný 0,4% roztok (4 g NaOH se po rozpuštění v demineralizované vodě doplnilo touto vodou na 1 litr),
- Chlorid sodný, standardní roztok o  $c = 0,05$  nebo  $0,02 \text{ mol.l}^{-1}$  (2,9222 g NaCl vysušeného při teplotě  $105^\circ\text{C}$  se rozpustilo v redestilované vodě a při teplotě  $20^\circ\text{C}$  se touto vodou doplnil na 1 l).

**Postup zkoušky:** Do Erlenmayerovy baňky jsem odměřila 200 ml vzorku, přidala směsný indikátor, přilévala jsem po kapkách kyselinu dusičnou, až barva indikátoru přešla z modrozeleného do žlutého zabarvení. Pak jsem přidala 0,25 ml kyseliny dusičné navíc. Nakonec jsem titrovala dusičnanem rtuťnatým do fialového zbarvení. Spotřeba odměrného roztoku dusičnanu rtuťnatého 1 ml odpovídala koncentraci chloridů 1 mmol/l.

#### 4.2.5. Kontrola chemických režimů – stanovení pH

**Chemikálie:** Během rozboru se používají výhradně činidla zaručené analytické čistoty.

- Tlumivý roztok (pH 4),
- Tlumivý roztok (pH 7),
- Tlumivý roztok (pH 10),
- Demineralizovaná voda.

**Postup zkoušky:** Elektrody jsem před měřením opláchla demineralizovanou vodou, pak i vzorkem a ponořila jsem ji do vzorku. Měřenou hodnotu pH jsem odečítala ze stupnice přístroje po ustálení. Přístroj se pravidelně kalibroval pomocí tlumivých roztoků o známé hodnotě pH. Přístroj se obsluhoval přesně podle manuálu. ČSN ISO 10523 (757365)

#### 4.2.6. Kontrola chemických režimů – stanovení konduktivity

**Chemikálie:** Používány jsou výhradně činidla zaručené analytické čistoty (p.a.) a pouze destilovaná voda, nebo také voda podobné jakosti.

- Voda k přípravě roztoků a ředění (demineralizovaná voda, elektrická konduktivita  $\leq 1$  uS/m),
- Chlorid draselný o  $c = 0,01 \text{ mol.l}^{-1}$  (několik gramů KCl se sušilo 2 hodiny při  $105^{\circ}\text{C}$ ; pak se rozpustilo 0,7456 g sušeného KCl p.a. v demineralizované vodě při  $20^{\circ}\text{C}$  a objem se doplnil na 1 l. Konduktivita tohoto roztoku při  $20^{\circ}\text{C}$  byla 1278 uS/m).

**Postup zkoušky:** Před měřením se vodivostní nádobka s elektrodou musela několikrát propláchnout demineralizovanou vodou na hodnotu odpovídající její vodivosti. Pak se měřila konduktivita vzorku vody tolikrát, dokud se hodnota neustálila. Konduktivita se odečítala přímo na stupnici přístroje a zapsala jsem hodnoty do protokolu. Přístroj byl obsluhován přesně dle manuálu.<sup>[3]</sup> ČSN EN 27888 (757344)

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSE

V této kapitole se zaměřím na vyhodnocení naměřených a stanovených výsledků analýz. Tyto hodnoty jsem zjistila v rámci stanvení vod, při stanovení chemických ukazatelů vod. Dané hodnoty jsem rozdělila dle analyzovaných vod.

### 5.1. Vyhodnocení surové vody

V následující tabulce č. 2 jsou uvedeny hydrochemické parametry surové vody, které jsem naměřila v rámci monitoringu. Tyto hodnoty odpovídají průměrům měření za dobu 14 dní.

Na základě zjištěných hodnot, které jsem naměřila v období od 1. 5. 2011 do 14. 5.2011, jsem usoudila, že hodnoty odpovídají standardům pro demineralizační stanici. Přesné limity pro surovou vodu demineralizační stanice však nemá. Taktéž je nemá ani pro čiřenou vodu čiřič, chladicí vodu a silně kyselý katex. Celková tvrdost se stanovuje pouze pro účely informativní, aby se předešlo vodnímu kameni na potrubí a strojích. Chloridy se stanovují pro to, aby se předešlo korozi.

Tabulka 2 Surová voda

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>m-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>Cl<sup>-</sup></b> | <b>pH</b>              |
|-----------------------|------------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>         | <b>ihned po odběru</b> |
| 250                   | 1,48             | 0,90          | 0,67                  | 7,3                    |
| 270                   | 1,40             | 0,59          | 0,42                  | 7,5                    |
| 290                   | 0,05             | 1,02          | 0,47                  | 7,6                    |
| 280                   | 1,56             | 1,1           | 0,45                  | 7,4                    |

#### Vysvětlivky:

K<sub>25</sub> – konduktivita,

m – hodnota – celková alkalita (KNK<sub>4,5</sub>),

Tc – celková tvrdost vody,

Cl<sup>-</sup> - chloridy,

pH – pH hodnota.

U surové vody jsem stanovovala celkovou tvrdost, měrnou elektrickou vodivost, celkovou alkalitu, chloridy a pH. Surová voda vykazovala jednu chybovou hodnotu, a to u m – hodnoty: 0,05 mmol/l. Jednalo se zřejmě o chybovou hodnotu způsobenou nepřesným stanovením.

## 5.2. Vyhodnocení čířené vody

Tabulka 3 čířená voda

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>              |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|------------------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>ihned po odběru</b> |
| 68                    | 0,13             | 1,2           | 1                | 9,8                    |

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>     |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>27,5°C</b> |
| 52                    | 0,16             | 0,5           | 0,21             | 9,4           |

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>     |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>22,5°C</b> |
| 73                    | 0,05             | 0,45          | 0,16             | 9,4           |

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>     |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>21,5°C</b> |
| 53                    | 0,1              | 0,42          | 0,19             | 9,3           |

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>     |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>20,5°C</b> |
| 65                    | 0,2              | 0,4           | 0,25             | 9,8           |

| <b>K<sub>25</sub></b> | <b>p-hodnota</b> | <b>Tc</b>     | <b>m-hodnota</b> | <b>pH</b>     |
|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>μS/cm</b>          | <b>mmol/l</b>    | <b>mmol/l</b> | <b>mmol/l</b>    | <b>19,5°C</b> |
| 94,0                  | 0,10             | 0,36          | 0,21             | 10,1          |

U vody čířené jsem stanovovala celkovou tvrdost, měrnou elektrickou vodivost, celkovou alkalitu, zjevnou alkalitu a pH.

### Vysvětlivky:

$\kappa_{25}$  – konduktivita,

m – hodnota – celková alkalita ( $\text{KNK}_{4,5}$ ),

p – hodnota – zjevná alkalita ( $\text{KNK}_{8,3}$ ),

Tc – celková tvrdost vody,

pH – pH hodnota.

### 5.3. Vyhodnocení vody z čířiče

Tabulka 4 čířič

| $\kappa_{25}$    | p-hodnota | m-hodnota | pH              |
|------------------|-----------|-----------|-----------------|
| $\mu\text{S/cm}$ | mmol/l    | mmol/l    | ihned po odběru |
| 340              | 1,13      | 1,32      | 11,1            |

| $\kappa_{25}$    | p-hodnota | m-hodnota | pH     |
|------------------|-----------|-----------|--------|
| $\mu\text{S/cm}$ | mmol/l    | mmol/l    | 22.5°C |
| 235              | 0,29      | 0,7       | 10,1   |

| $\kappa_{25}$    | p-hodnota | m-hodnota | pH     |
|------------------|-----------|-----------|--------|
| $\mu\text{S/cm}$ | mmol/l    | mmol/l    | 21.5°C |
| -                | 0,56      | 0,84      | 10,7   |

| $\kappa_{25}$    | p-hodnota | m-hodnota | pH     |
|------------------|-----------|-----------|--------|
| $\mu\text{S/cm}$ | mmol/l    | mmol/l    | 20.5°C |
| -                | 0,69      | 0,82      | 10,7   |

U vody z čířiče (filtrace) jsem stanovovala pH, měrnou elektrickou vodivost, zjevnou a celkovou alkalitu.

### Vysvětlivky:

$\kappa_{25}$  – konduktivita,

m – hodnota – celková alkalita ( $\text{KNK}_{4,5}$ ),

p – hodnota – zjevná alkalita ( $\text{KNK}_{8,3}$ ),

pH – pH hodnota.

## 5.4. Vyhodnocení chladicí vody

Tabulka 5 chladicí voda

| $\kappa_{25}$ | p-hodnota | Tc     | m-hodnota | pH     |
|---------------|-----------|--------|-----------|--------|
| mS/cm         | mmol/l    | mmol/l | mmol/l    | 20,5°C |
| 980           | 0,53      | 3,12   | 3,57      | 8,8    |
| 1000          | 0,80      | 3,32   | 4,01      | 8,85   |
| 1000          | 0,67      | 2,28   | 3,67      | 8,85   |

### Vysvětlivky:

$\kappa_{25}$  – konduktivita,

m – hodnota – celková alkalita ( $\text{KNK}_{4,5}$ ),

p – hodnota – zjevná alkalita ( $\text{KNK}_{8,3}$ ),

Tc – celková tvrdost vody,

pH – pH hodnota.

U chladicí vody jsem kontrolovala měrnou elektrickou vodivost, celkovou a zjevnou alkalitu, celkovou tvrdost a pH hodnotu.

## 5.5. Silně kyselý katex

Tabulka 6 kyselý katex

| Acidita | pH              |
|---------|-----------------|
| mmol/l  | ihned po odběru |
| 0,6     | 3,1             |
| 0,4     | 3,1             |
| 0,4     | 3,1             |
| 0,4     | 3,8             |
| 0,4     | 3,7             |

### Vysvětlivky:

pH – pH hodnota,

acidita –  $\text{ZNK}_{4,5}$ .

Voda ze silně kyselého katexu se stanovila na aciditu a hodnotu pH. Důvod byl takový, že se zjišťovalo, jak moc kyselá voda katexem prochází do další úpravy.

## 5.6. Hodnocení demineralizované vody

Tabulka 7 demineralizovaná voda

| $\kappa_{25}$ |
|---------------|
| mS/cm         |
| 0,6           |
| 0,6           |
| 0,7           |
| 0,7           |
| 0,8           |

### Vysvětlivky:

$\kappa_{25}$  – konduktivita.

Limitní hodnoty má pouze demineralizovaná voda, kde se stanovovala měrná elektrická vodivost. Zde je limitní hodnota 1,0 mS/cm. Veškeré naměřené hodnoty jsou pod touto limitní hodnotou. Tudíž vyhovují normě.

V laboratoři jsem měla za úkol stanovovat ukazatele jakosti vod. Každý den jsem odebírala vody z provozu a kontrolovala jsem jejich kvalitu. Vodu jsem kontrolovala pomocí ukazatelů:

- KNK8,3,
- KNK4,5,
- ZNK4,5,
- Celková tvrdost,
- Chloridy,
- pH,
- Konduktivita.

Kontrole byly podrobeny tyto vody: voda surová, čiřená, čířič, chladicí, silně kyselý katex a ústřední vodu demineralizovanou. Voda demineralizovaná, která se používá do kotlů, nesmí mít žádné ionty.

Změřené hodnoty jsem pouze zapsala do příslušného deníku. Tyto hodnoty se poté posílaly k dalšímu zpracování.



## **6. ZÁVĚR**

Bakalářská práce se týkala analýzy vod, prováděné v demineralizační stanici Energetiky Vítkovic a.s., která vyrábí demineralizační vodu do kotlů teplárny. Byly mi zadány úkoly stanovovat jakost vod a kontrolovat, aby konečná demivoda byla v pořádku. Titrovala jsem, měřila a získávala jsem výsledky, které jsem zapisovala do protokolů, které mi vedoucí laboratoře ústně zhodnotila.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. KALIČINSKÁ, Jitka. *Monitorování životního prostředí*. Ostrava: Pavel Klouda, 2006. ISBN 80-86369-13-7.
2. KRAUT, Miroslav. *Místní předpis Demineralizační stanice*. Ostrava.
3. KRAUT, Miroslav. *Místní provozní předpis – Laboratoř vody*. Ostrava.
4. ENERGETIKA VÍTKOVICE, a.s. *Energetika Vítkovice: tradice, práce, perspektiva*. Ostrava, 2007.
5. OSMONICS, Inc. *Osmonics Pure Water Handbook*. 2. vyd. Minnetonka, USA, 1997. Dostupné z: <http://dwb4.unl.edu/chem/chem869a/chem869amats/purewater/pwh-s.pdf>
6. KEMMER, Frank N. NALCO CHEMICAL COMPANY. *The NALCO water handbook*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Co., c1988, 1 v. (various pagings). ISBN 00-704-5872-3.
7. K. HIDEO, K. TSUZURA, H. SHIMIZU, *Ion exchange membranes*, in: K. Dorfner (Ed.), *Ion Exchangers*, Walter de Gruyter, Berlin, 1991.
8. H. STRATHMANN, *Electrodialysis and related processes*, in: R.D.Nobe, S.A. Stern (Eds.), *Membrane Separation Technology—Principles and Applications*, Elsevier Science B.V., 1995, pp. 214–278.
9. J.W.RISEN, *Applications of ionomers*, in: S. Schuck (Ed.), *Ionomers—Characterization, Theory and Applications*, CRC Press, New Jersey, 1996.
10. Purite: Water purification Systems. PURITE LTD. *Purite: Water purification systems* [online]. UK [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://purite.com/>
11. *Water treatment handbook*. 6th ed. Secaucus, NJ, USA: Lavoisier Pub. [distributor], 1991-, v. <2- >. ISBN 29-503-9841-3.
12. V.K. CHEBORATEV, A.I. CHEBORATEVA, Z.I. IVANOVA, *Tez. dokl. nauch.-tehn. kon. po metodam analiza*, Sverdlovsk (1972) S. 126–127.
13. V.K.CHEBORATEV., A.V. BUTAKOVA, N.E. CHECHUSHKOVA, *Tez. dokl. Vsesouznoy kon. po electrohím. Metodam analiza*, Tomsk (1981) S. 263.

14. V.K. CHEBORATEV, V.D. CHIGIRINZEV, N.N. ARTUHOVA, *Tez. dokl. V Vsesouznoy kon., Organ. reagenti v analiticheskoi khimii*, Kiev (1983) H.2 S. 185.
15. V.K. CHEBORATEV, N.N. ARTUHOVA, L.V. YAKOVLEVA, *Tez. dokl. II Vsesouznoi kon. po electrohim. metodam analiza*, Tomsk (1985) S. 209.
16. V.K. CHEBORATEV, N.N. ARTUHOVA, G.D. KRUTIKOVA, *Fiziko-chemicheskie metodi issledovaniya khimicheskikh prozessov. Meshvuz. sb. Altaiskii gosuniversitet*, Barnaul (1988) S. 108–113.
17. V.K. CHEBORATEV, Y.K. KRAEV, I.V. VORONKINA, *Tez. dokl. II Vses. kon. Matematicheskie metodi i EVM v analiticheskoi khimii*, Moskva (1991) S. 152.
18. T.A. HUDYAKOVA, A.P. ARATSKII, T.N. TARASOVA, *Zavod Lab.* 49 (1983) 912.
19. T.A. HUDYAKOVA, A.P. ARBATSKII, A.V. FEDYAI, *GGU, Gorkii* (1987) 29. S., Dep. V VINITI., 26.07.77., 3063–77.
20. T.A. HUDYAKOVA, A.P. ARBATSKII, *Kislotno-osnovnie svoistva elektrolitov i kriterii ih analiza*, M, Khimiya (1988) S. 31–42).
21. J. RICCI, *Hydrogen ion concentration*, Princenton Univ. Press, Princenton, 1952, p. 459.
22. J. ZSACO, *Stud. Univ. Bades. Baluat Chem.* 2 (1960) 13.
23. T.A. HUDYAKOVA, A.P. KRESHKOV, *J. Electroanal. Chem.* 29 (1971) 181. [13] E. Wänninen, *Talanta* 10 (1962) 221.
24. E. WÄNNINEN, *Talanta* 10 (1962) 221.
25. M.D. BARRY, L. MEITES, *Anal. Chim. Acta* 68 (1974) 435.
26. International Society of Electrochemistry. INTERNATIONAL SOCIETY OF ELECTROCHEMISTRY. [online]. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.isc-online.org/>

## SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK:

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Tabulka 1 charakteristika vody .....  | 22 |
| Tabulka 2 Surová voda .....           | 29 |
| Tabulka 3 čířená voda .....           | 30 |
| Tabulka 4 čířič .....                 | 31 |
| Tabulka 5 chladicí voda .....         | 32 |
| Tabulka 6 kyselý katex .....          | 32 |
| Tabulka 7 demineralizovaná voda ..... | 33 |

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1:Densadeg .....                 | 4  |
| Obrázek 2: Densadeg schéma .....         | 5  |
| Obrázek 3: Pískové filtry .....          | 6  |
| Obrázek 4: demineralizační stanice ..... | 9  |
| Obrázek 5: Katexový filtr .....          | 10 |
| Obrázek 6: Mixbed filtr .....            | 13 |
| Obrázek 7: Změkčovací filtry .....       | 14 |
| Obrázek 8: laboratoř chův .....          | 16 |
| Obrázek 9: Laboratoř paliva .....        | 17 |